

# 基于演化博弈的生态供应链采购管理研究

计国君 张茹秀

(厦门大学 管理学院, 福建 厦门 361005)

**摘要:** 生态采购是生态供应链管理中重要的一环, 关系到整个供应链能否实现可持续发展, 同时达到经济效益、社会效益与环境效益的最大化。文章运用演化博弈论来描述和分析生态供应链采购管理过程中制造商和供应商之间的合作博弈模型, 进而得出供应链上企业采取生态策略所需的条件。

**关键词:** 生态供应链; 采购管理; 演化博弈

**文献引用:** 张茹秀, 计国君. 基于演化博弈的生态供应链采购管理研究[J]. 生态经济, 2010(1): 26~29.

**中图分类号:** F224.32; F205 **文献标识码:** A

## Research of Ecological Supply Chain Purchasing based on Evolutionary Game

ZHANG Ruxiu, JI Guojun

(School of Management, Xiamen University, Xiamen Fujian 361005, China)

**Abstract:** Ecological purchasing is an important part of ecological supply chain management, which affects whether the whole supply chain would realize sustainable development and maximize the economic efficiency, social efficiency and environmental efficiency. In the paper, the evolutionary game theory is used to describe and analyze the game model of the cooperation between the manufacturer and supplier when implementing ecological purchasing. The conditions that firms in supply chain chose ecological strategy are proposed. Further, the authors give some advices about efficiently ecological purchasing.

**Key words:** ecological supply chain; purchasing management; evolutionary game

为保证在经济发展的同时保护好环境, 制造型企业 在严厉的法律法规、政策的约束下, 开始在制造的最后 工序或排污口建立各种防治环境污染的设施来处理污 染, 如建污水处理站等。但是单一企业或某一环节的事 后环境控制的末端治理模式存在种种弊端, 不能从根本 上解决制造业对环境的负面影响问题。于是从20世纪90 年代开始, 人们逐步强调通过企业间的合作来实现全过 程环境管理, 从生产和消费的源头来防止污染的产生, 以生态理念为基础对产品整个生命周期进行环境管理, 将生态工业等思想融入供应链, 提出一个在保持良好生 态绩效下平衡成本的新方法——生态供应链。生态供应 链管理的核心在于把生态供应链上的各个企业看成是供 应链上的一系列节点, 从整个生态供应链的角度来优化 各节点企业的经营行为, 通过各节点企业同步协调地运 行, 使得整个生态供应链对环境的负面影响降至最小, 资源利用效率达到最高, 最终实现经济效益和社会效益 的协调、稳定、持续优化的目标<sup>[1]</sup>。

供应链是具有相互共生关系的企业联结成的一个整

体, 为了生存和发展必须不断通过遗传与创新变异去适 应生态环境的变化, 同时使生态环境有利于自身的发展 演化。企业之间不断磨合、适应和进化, 使企业之间竞 争、捕食等负相互作用不断退化, 偏利共生和互利共生 等正相互作用不断进化增强, 达到供应链企业间的协同 进化。因而本文从促进生态供应链构建的角度, 利用演 化博弈分析生态供应链企业之间生态关系的演变进化过 程。制造商与其供应商之间的生态链接是构建生态供应 链的关键, 能够创造价值并且对一个企业和上游供应链 的环境行为产生重要影响<sup>[2]</sup>。双方生态关系的构建及其紧 密程度归因于企业对自身经济利益的考虑和针对彼此行 为相机选择的策略。

## 1 生态供应链采购

在生态环境不断恶化的情况下, 越来越多的企业把 提高企业环境绩效作为增强市场竞争力的手段, 并且在 治理污染时把视野从单个企业独立治污转向供应链集体 治污, 进而解决污染治理中的效率与效益问题。生态供 应链正是这种转变的产物, 它是对传统供应链的改进和

**基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(70971111); 2009年福建省自然科学基金项目(2009 J01313)

**作者简介:** 计国君(1964~), 男, 安徽合肥人, 教授, 研究方向为供应链管理、系统工程和信息管理; 张茹秀(1979~), 女, 黑龙江 牡丹江人, 博士生, 研究方向为供应链管理。

完善,通过对供应链整体和各环节实施环境管理,最小化产品从原材料采购到用后制品处理的整个生命周期的环境影响。因此,生态供应链可以被定义为高效、低成本的计划、实施和控制整个供应链的物流和信息流,使生态效率最大化。当一条供应链内实现了物流生态化,即企业在生产和运输中都使用环境友好的材料来减少物流运作中的有害物质,这条供应链可以看作是生态供应链<sup>[3]</sup>。生态供应链管理是一种环境友好型的供应链管理,从多赢的角度沿着整个供应链创造最大价值,目的是解决环境管理中效率与效益背反的现象,最小化负面环境影响。作为其核心,生态设计将产品开发过程中的所有环境影响考虑进去,使产品在整个生命周期内对环境的影响尽可能降到最低<sup>[4]</sup>。它能够经济活动对环境的影响控制在设计阶段,提高运作绩效,如资料、可靠性和灵活性<sup>[5]</sup>。

生态供应链系统由生产、消费、回收、社会、环境子系统构成,如图1所示。在这样一个模拟自然生态系统的闭环链条中,不仅供应链中上游企业的产品能作为有用的输入提供给下游企业,上游企业排放出的废弃物也能回收后被本企业或其他企业再利用,是一种循环经济。生态供应链中各节点企业之间的供需关系不仅体现在节点企业之间的产品上,同时还体现在企业之间产生的废弃物上。对于生态供应链来说,物质在供应链内循环流动形成闭合循环,一个节点企业的输出即是另一节点企业的输入。因而,所有的物质都以不同的方式得到高效的再利用,没有绝对的废物,只有一些目前还无法有效利用的残留物排放到自然环境系统。生态供应链系统的运营是建立在物流、信息流、资金流、知识流的基础之上,其中,知识流成为生态供应链的重要组成部分,因为要实现供应链内成员的活动与环境友好的目标,就需要相应的技术与知识作为支持。

生态供应链环境下的采购行为称为生态采购,是生态供应链一个非常重要的环节。生态采购可以定义为:

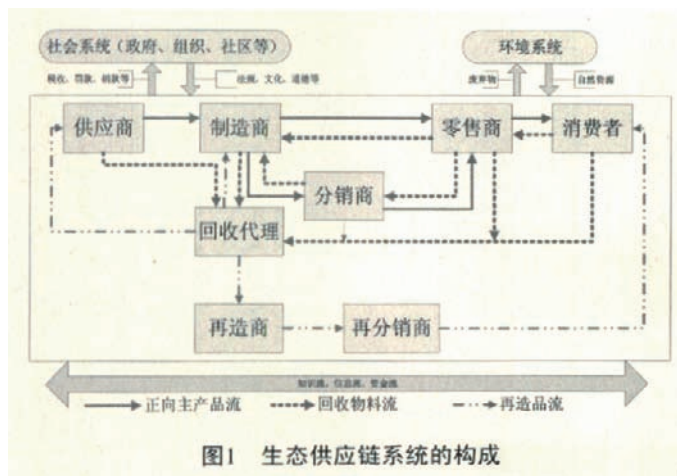


图1 生态供应链系统的构成

为了促进回收、再利用和资源的减量使用 and 实现生态效益最大化,采购部门参与供应链管理的各种活动。它包括两个部分,一个是选择获取和使用过程中对环境的影响最小的原材料,另外一个选择是选择环境友好型的供应商。无毒、可降解和具有较高回收率的可再用原料要优先使用。只有在没有二次资源储备的情况下,初级原材料才可被使用,而且要尽可能的使用对环境更安全的替代品。生态采购过程中经常会遇到两难境地,考虑不同方面的标准,如价格、质量、产品生命周期、维修和环境绩效特征,因而企业要在不同的策略间权衡并最终决定是否采取生态策略<sup>[6]</sup>。

## 2 博弈模型构建

供应链是由关联企业群体组成的复杂经济系统,其演化是一个由自组织与环境适应混合作用的系统演化过程<sup>[7]</sup>。不同于机械系统单纯的能量转换和生物系统的自然选择过程,由于人类特有的学习能力,供应链系统演化是在差异、选择、维持三个基本机制作用下,由个体到群体的渐进累积的环境适应过程。生态供应链作为一个复杂自适应系统,其演化过程是以自组织过程为基础,通过市场来实现优胜劣汰的动态演化过程。

演化博弈论借鉴生物进化论的适者生存这一基本原则,通过把博弈分析和动态演化过程分析结合起来,研究了一群有限理性的个体重复进行某个博弈时,系统整体的行动、规则或策略的分布特征。在演化博弈论中,最核心的概念是“演化稳定策略”(evolutionary stable strategy, ESS)和“复制动态”(replicator dynamics)。演化稳定策略表示一个种群抵抗变异策略侵入的一种稳定状态,其定义为:若策略是一个ESS,当且仅当:

(1)  $x$  构成一个Nash均衡,即对任意的  $x$ , 有

$$u(x, x) \geq u(x', x);$$

(2) 如果  $x \neq x'$  满足  $u(x, x) = u(x', x)$ , 则必有

$$u(x, x') > u(x', x').$$

借鉴生物系统自然选择的思想,演化博弈论中群体的复制动态被假定为:某种策略的增长率依赖于它的适应度,产生更高收益的策略具有更高的增长率。用  $s_i(x)$  表示一个种群中在  $t$  时刻采用策略  $x$  的比率:

$$s_i(x) = \frac{n_i}{n_i + n_{i'}} = \frac{n_i}{N_i},$$

用  $u(x)$  表示采用策略  $x$  的期望适应度:

$$u(x) = s_i(x)u_i(x, x) + s_{i'}(x)u_i(x, x'),$$

用  $E(u_i)$  表示种群的平均适应度:

$$E(u_i) = s_i(x)u_i(x, x) + s_{i'}(x)u_i(x, x'),$$



根据以上假定,可以得到动态复制方程为:

$$\frac{ds(x)}{dt} = s(x)[u(x) - E(u)] = F(s).$$

复制动态实际上是描述某一特定策略在一个种群中被采用的频数或频度的动态微分方程。

本文假设供应链系统中,有一群制造商M与供应商S在一个具有不确定性和有限理性的空间进行策略博弈,双方的策略集合分别为 $S_s$ (生态,非生态)和 $S_m$ (生态,非生态)。即在当前生态产品和非生态产品并存的市场条件下,供应商有两种策略可以选取:提供生态原料和提供非生态原料。制造企业也有两种策略可以选取:采购生态原料,生产生态产品和采购非生态原料,生产非生态商品,即不生产生态产品。如果双方都采用生态策略,双方分别获得超额利润 $\Delta\pi_m$ 、 $\Delta\pi_s$ ,如果都采用非生态策略,双方将分别获得正常利润 $\pi_m$ 、 $\pi_s$ 。若一方采用生态策略,一方采取非生态策略,则实施生态策略的一方将遭受损失 $C_m$ 或 $C_s$ ,但可以获得来自非生态策略一方的赔偿 $K$ 。企业的理性层次属于慢速学习的类型,而不是快速学习类型。因为目前大多数企业生态意识较差,构建环境友好型的网络的理念淡漠。由此建立的双方支付矩阵为:

|     |     | 供应商  |                            |
|-----|-----|--|----------------------------|
|     |     | 生态   | 非生态                        |
| 制造商 | 生态  | $(\pi_m + \Delta\pi_m, \pi_s + \Delta\pi_s)$ | $(\pi_m - C_m + K, \pi_s)$ |
|     | 非生态 | $(\pi_m, \pi_s - C_s + K)$                   | $(\pi_m, \pi_s)$           |

### 3 模型参数分析

(1)当 $\Delta 0_m \geq \pi$ 和 $\Delta 0_s \geq \pi$ 时,根据 $K$ 大小分4种情况讨论如何促使达成(生态,生态)策略:

① $K < C_m, C_s$ , 设 $-C_m + K = -C_m'$ ,  $-C_s + K = -C_s'$ , 则支付矩阵为:

|     |     | 供应商  |                         |
|-----|-----|--|-------------------------|
|     |     | 生态   | 非生态                     |
| 制造商 | 生态  | $(\pi_m + \Delta\pi_m, \pi_s + \Delta\pi_s)$ | $(\pi_m - C_m', \pi_s)$ |
|     | 非生态 | $(\pi_m, \pi_s - C_s')$                      | $(\pi_m, \pi_s)$        |

假设:选择生态策略的制造商比例 $P_m$ ,选择非生态策略的制造商比例 $1-P_m$ 。选择生态策略的供应商比例 $P_s$ ,选择非生态策略的供应商比例 $1-P_s$ 。则制造商采取生态策略的适应度为:

$$U_{m1} = P_s(\pi_m + \Delta\pi_m) + (1-P_s)(\pi_m - C_m') \quad (1)$$

制造商M采用非生态策略的适应度为:

$$U_{m2} = P_s\pi_m + (1-P_s)\pi_m \quad (2)$$

制造商M的平均适应度为:

$$E(U_m) = P_m U_{m1} + (1-P_m)U_{m2} \quad (3)$$

下面分析该动态过程的均衡状况。假设种群中使用某个策略的个体在种群中所占的比例的增长率等于该策略的相对适应性,只要一个策略的适应度比群体的平均适应度高,该策略就会发展。

采用生态策略的制造商M比例的增长率为:

$$\frac{dP_m}{dt} = P_m[U_{m1} - E(U_m)] = P_m(1-P_m)[(\Delta\pi_m + C_m')P_s - C_m'] \quad (4)$$

同理,采用生态策略的供应商S比例的增长率为:

$$\frac{dP_s}{dt} = P_s(1-P_s)[(\Delta\pi_s + C_s')P_m - C_s'] \quad (5)$$

微分方程(4)和(5)描述了这个演化系统的群体动态。

方程(4)表明,仅当

$$P_m = 0; P_m = 1; \text{或 } P_s = \frac{C_m'}{\Delta\pi_m + C_m'} \text{ 时,}$$

制造商群体中选择生态策略的企业所占的比例是稳定的。

方程(5)表明,仅当

$$P_s = 0; P_s = 1; \text{或 } P_m = \frac{C_s'}{\Delta\pi_s + C_s'} \text{ 时,}$$

供应商群体中选择生态策略的企业所占的比例是稳定的。根据Friedman<sup>[8]</sup>提出的方法,其均衡点的稳定性可由该系统的雅可比矩阵的局部稳定性分析得到。(0,0)和(1,1)都是进化稳定策略,如图2所示,即此种情况下,(生态,生态)和(非生态,非生态)两种策略都可能成为演化的最终结果。

类似上述稳定性分析可得出:

② $K > C_m, C_s$ , 只有(1,1)是进化稳定策略;

③ $C_s > K > C_m$ , 只有(1,1)是进化稳定策略;

④ $C_m \geq K \geq C_s$ , 只有(1,1)是进化稳定策略<sup>[9]</sup>。

但是通常合约中对违约的赔偿 $K < \min(C_m, C_s)$ , 无法

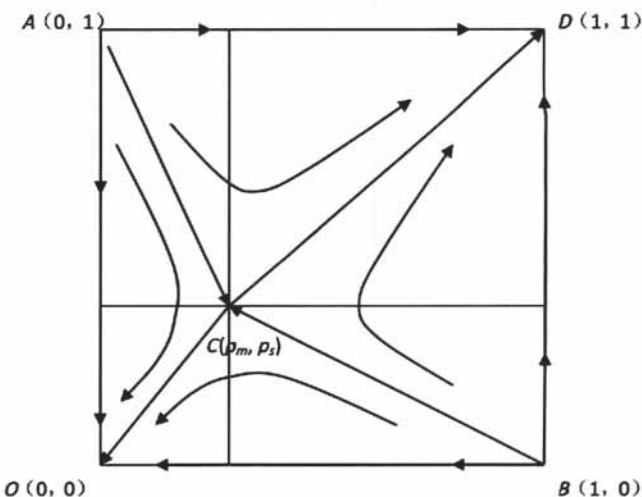


图2 企业间博弈分析相图

弥补企业的损失。因而,考虑引入政府监督力量,实行奖励,促使

$$K' = K + B > \min(C_m, C_s)$$

或者对非生态企业征收生态税 $T$ ,使

$$T + K > \min(C_m, C_s)$$

或者,减少企业之间依赖程度,如实施多源采购、开发备选供应商、增强原材料的可替代性等,使 $C_m, C_s$ 变小。

此外,当考虑惩罚 $P$ 时,如果

$$K'' = P + K > \min(C_m, C_s) \text{ 时,}$$

(1, 1)是稳定策略,特别是如果 $P$ 无穷大,代表法规或者标准强制,如:某些著名企业对供应商实行环境审核,符合的才能成为合作伙伴;国际贸易中的绿色壁垒;我国推出环保政策,关闭资源消耗过度的企业。此时,所有企业只能选择生态策略。

(2)当 $\Delta 0_m \leq \pi$ ,  $\Delta 0_s \leq \pi$ , 根据 $K$ 大小分四种情况:

① $K < C_m, C_s$ , (0, 0)是进化稳定策略;

② $K > C_m, C_s$ , (1, 0), (0, 1)是进化稳定策略;

③ $C_s > K > C_m$ , (1, 0)是进化稳定策略;

④ $C_m \geq K \geq C_s$ , (0, 1)是进化稳定策略。

如果产品在整个制造、消费过程中的资源循环利用节省的费用小于开发绿色技术和生产改造、产品回收等费用,此时生态产品的销售价格就要高于正常产品,但如果消费者缺乏足够的生态意识,不愿购买高价的生态产品,  $\Delta \pi_m$ 就会小于零。自然,供应商也无法以希望的价格将原材料卖给制造商,  $\Delta \pi_s$ 也会小于零。此时应该加强企业间合作,着重降低整个供应链的成本,培育生态产品消费市场,增强消费者生态意识,从而提高整个链条的收益。

(3)当 $\Delta 0_m \geq \pi$ ,  $\Delta 0_s \leq \pi$ 或者 $\Delta 0_s \geq \pi$ ,  $\Delta 0_m \leq \pi$ 时,当只有一方收益时,很难维持长期合作。此时可以通过供应链利益的再分配来协调合作双方的收益,使生态供应链可以稳定下去。当然,政府对一些生态成本较高的企业实施税收、贷款、土地等方面的优惠,尽可能给予政策支持,也会增强链条的稳固性。

## 4 结论

在生态采购的演化博弈模型中,制造商和供应商都采取生态策略或者都不采取生态策略、一方采取生态策略都可能成为均衡结果,而双方同时采取生态策略构建生态供应链才是符合可持续发展目标的。其他均衡不是以牺牲环境效益为代价获得经济效益,就是以牺牲经济效益为代价获得环境效益,都没有实现经济发展和环境保护的“双赢”。

除了企业之间的生态链接之外,政府、社区、投资者等利益相关者对生态供应链的构建也有着重要影响。模型分析表明,鼓励企业实施生态采购一种简便的方法是增加供应商提供非生态原料时的惩罚力度,抑制供应商提供非生态原料的投机冲动。因而要在全社会范围内推广生态采购,首先要发挥政府对经济的宏观调控作用。政府不仅可以从完善环境保护的法律法规入手,如征收生态税,还需从大力培育生态市场、完善生态价格体系、促进生态技术和管理创新着手,创造有利于环境采购的外部条件,减小供应商提供非生态原料的收益,增加提供非生态原料的成本;增加核心企业采购生态原料的收益,减小采购非生态原料的收益,让企业自觉、自愿地实施生态采购。毕竟,没有先进的技术与管理方法来降低废弃物再利用的成本,没有消费者需求的拉动,生态采购很难实现。其次,在生态价格体系下,充分发挥市场对资源的配置作用,利用市场的力量迫使企业由生产、采购非生态原料转变为生产、采购生态原料,从根本上缓解人与自然之间的紧张关系,实现人与自然的和谐共存和人类社会的可持续发展。■

## 参考文献:

- [1]张成考, 聂茂林, 王春雨. 生态供应链管理: 21世纪企业可持续发展的新模式[J]. 科学学与科学技术管理, 2004(7): 131~134.
- [2]Carter C R, Kale R, Grimm C M. Environmental purchasing and firm performance: An empirical investigation [J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2000, 36(3): 219-228.
- [3]Koh S C L, Birkin F, Lewis L, et al. Current issues of sustainable production, eco-supply chains and eco-logistics for sustainable development [J]. International Journal of Global Environmental Issues, 2005, 7(1): 88-101.
- [4]Braungart M, McDonough W, Bollinger A. Cradle-to-cradle design: Creating healthy emissions e a strategy for eco-effective product and system design [J]. Journal of Cleaner Production, 2007(15): 1337-1348.
- [5]Gonzalez-Benito J, Gonzalez-Benito O. Environmental pro-activity and business performance: An empirical analysis [J]. Omega, 2005(33): 1-15.
- [6]Byggeth S, Hochschorner E. Handling trade-offs in Eco-design tools for sustainable product development and procurement [J]. Journal of Cleaner Production, 2006, 14(15/16): 1420-1430.
- [7]燕波. 基于循环经济理论的闭环供应链分析框架[J]. 生态经济, 2009(7): 66~70.
- [8]Friedman D. Evolutionary games in economics [J]. Econometrica, 1991, 59(3): 637-666.
- [9]孙庆文, 陆柳, 严广乐, 等. 不完全信息条件下演化博弈均衡的稳定性分析[J]. 系统工程理论与实践, 2003(7): 11~16.